



(11)

EP 3 696 595 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
19.08.2020 Bulletin 2020/34

(51) Int Cl.:
G02B 27/01 (2006.01)
G02B 27/14 (2006.01)
G02B 27/00 (2006.01)

(21) Numéro de dépôt: **20155523.2**

(22) Date de dépôt: **05.02.2020**

(84) Etats contractants désignés:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Etats d'extension désignés:
BA ME
Etats de validation désignés:
KH MA MD TN

- **BARDON, Jean-Luc**
33700 MERIGNAC (FR)
- **BOURGAIN, Jean-Louis**
33700 MERIGNAC (FR)
- **CONI, Philippe**
33700 MERIGNAC (FR)

(30) Priorité: **14.02.2019 FR 1901468**

(71) Demandeur: **Thales**
92400 Courbevoie (FR)

(72) Inventeurs:
• **DAMAMME, Natacha**
33700 MERIGNAC (FR)

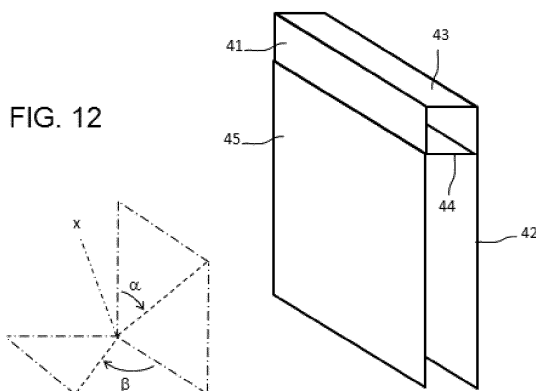
(74) Mandataire: **Bréda, Jean-Marc**
Marks & Clerk France
Conseils en Propriété Industrielle
Immeuble " Visium "
22 Avenue Aristide Briand
94117 Arcueil Cedex (FR)

(54) **DISPOSITIF DE VISUALISATION COMPORTANT UN EXPANSEUR DE PUPILLE A DEUX MIROIRS**

(57) Le domaine technique de l'invention est celui des dispositifs de visualisation comportant un ensemble optique comprenant un afficheur (1), un système optique formant de cet afficheur une image à l'infini et un guide de lumière à expansion de pupille dans deux directions de l'espace. Le guide selon l'invention comporte trois miroirs plans (41, 42, 43) et deux lames semi-réfléchissantes (44, 45), l'axe optique de cet ensemble optique étant incliné par rapport à la surface du premier miroir plan

(41) d'un angle différent de zéro et strictement inférieur à 90 degrés, les faisceaux lumineux issus de l'ensemble optique se propageant à l'intérieur du guide de lumière par réflexions successives sur les miroirs plans et les lames semi-réfléchissantes, la transmission des faisceaux lumineux issus de l'ensemble optique vers l'extérieur du guide de lumière se faisant par transmissions successives par la seconde lame semi-réfléchissante (45).

[Fig. 12]



EP 3 696 595 A1

Description

[0001] Le domaine technique général de l'invention est celui des systèmes de visualisation permettant une superposition d'une image générée par un dispositif de visualisation sur l'extérieur. Ces dispositifs sont utilisés dans différents domaines d'application. Ces dispositifs peuvent être fixés sur une structure telle un tableau de bord de véhicule ou une planche de bord aéronautique. On parle alors de dispositifs de visualisation « Tête Haute », connus aussi sous l'appellation « HUD », signifiant « Head-Up Display ». Ils peuvent être également montés sur un support porté par la tête de l'utilisateur. Ils sont connus sous la dénomination « HMD », signifiant « Helmet Mounted Display ».

[0002] La figure 1 représente une première architecture permettant de réaliser ce type de système de visualisation. Sur cette figure et les suivantes, les composants optiques sont représentés en traits pleins gras et les rayons lumineux en traits fins ou en pointillés. Les optiques comportant des lentilles sont symbolisées par des flèches doubles. Le paysage extérieur est symbolisé par un soleil.

[0003] Cette première architecture comporte un afficheur 1, une optique de collimation coudée 2 et une lame plane semi-réfléchissante 3 placée dans le champ de vision d'un observateur Y. L'image générée par l'afficheur est envoyée à l'infini par l'optique de collimation. La lame semi-réfléchissante réfléchit, en partie, cette image vers l'observateur et transmet, en partie, le paysage extérieur. L'observateur voit donc, en superposition, l'image de l'afficheur sur le paysage extérieur. Cette solution a comme principal inconvénient que, par construction, l'œil de l'observateur est éloigné de la pupille du système. Le champ instantané d'observation est donc limité si l'on souhaite que le système conserve des dimensions et un poids raisonnable.

[0004] Le système de visualisation représenté en figure 2 n'a pas cet inconvénient. Il comporte un afficheur 1, une optique-relais 4 qui forme une image réelle de cet afficheur, un mélangeur optique 5 courbe semi-transparent qui forme de cette image réelle une image à l'infini. On démontre que cette combinaison optique permet de former une image de la pupille au niveau des yeux de l'observateur. La limitation précédente disparaît et le champ instantané d'observation n'est plus limité que par les dimensions du mélangeur optique. Cependant, cette solution a d'autres inconvénients. Le mélangeur optique est nécessairement un composant hors d'axe. La réalisation de l'optique-relais et du mélangeur est complexe à réaliser. Au final, on obtient un système complexe, coûteux et relativement encombrant.

[0005] Pour pallier ces différents inconvénients, des systèmes dits à expansion de pupille ont été proposés. Ils sont parfois connus sous l'appellation « EPE », acronyme signifiant « Exit Pupil Expansion ». Le principe de fonctionnement d'un système EPE est représenté sur les figures 3 à 9. Un système de visualisation EPE comporte un afficheur 1, une optique de collimation 6 ayant une pupille de sortie et un guide de lumière 7 en matériau transparent à faces planes et parallèles. Les faisceaux de lumière collimatés par l'afficheur pénètrent par exemple dans le guide de lumière par une de ses faces latérales 71. L'entrée dans le guide peut se faire, comme dans le cas représenté, à l'aide d'un prisme, mais également avec un réseau, que l'on nomme alors réseau d'entrée

[0006] Ces faisceaux se propagent dans le guide de lumière par réflexions totales sur les faces parallèles 72 et 73 du guide comme on le voit sur la figure 3.

[0007] Pour que l'observateur puisse percevoir une image, il est nécessaire de la faire sortir du guide. Plusieurs solutions optiques existent. A titre de premier exemple, le guide de lumière du système EPE de la figure 4 comporte deux lames semi-réfléchissantes 74 et 75 parallèles disposées de façon à extraire une partie des faisceaux collimatés. A titre de second exemple, le guide de lumière de la figure 5 comporte un réseau 76 de microstructures ou de micro-prismes qui assure les mêmes fonctions. Enfin, le guide de lumière de la figure 6 comporte un réseau de diffraction 77 qui diffracte une partie de la lumière vers l'extérieur du guide dans la direction souhaitée. Sur cette figure 6, le réseau est situé sur une des deux faces du guide de lumière. Il peut également être situé à l'intérieur du guide.

[0008] Les guides de lumière représentés sur les figures 4 à 6 permettent une extension de pupille dans une direction donnée. Pour étendre la pupille dans deux directions de l'espace, il est possible d'utiliser deux réseaux couplés 7 et 8 comme on le voit sur la figure 7 permettant d'étendre la pupille dans les deux dimensions de l'espace. Ces deux directions ne sont pas nécessairement normales l'une à l'autre. Sur cette figure 7, le premier réseau 7 permet d'étendre la pupille dans la dimension horizontale, et le second réseau 8 de l'étendre dans la direction verticale. Les croix cerclées indiquent que la lumière se propage dans un plan perpendiculaire à celui de la feuille.

[0009] Les systèmes à expansion de pupille peuvent être disposés face à l'observateur, comme on le voit sur la figure 8. Dans ce cas, l'observateur Y regarde le paysage directement à travers le guide de lumière. On parle de systèmes « see-through ».

[0010] Les systèmes à expansion de pupille peuvent être également associés à un combineur optique comme on le voit sur la figure 9 où les faisceaux lumineux sont réfléchis vers l'observateur au moyen d'une lame semi-réfléchissante 9 qui assure la transmission du paysage extérieur.

[0011] Ces systèmes de visualisation présentent de nombreux avantages par rapport aux systèmes de visualisation classiques. Ils sont moins volumineux, plus légers, moins coûteux et plus facilement implantables sur une planche de bord ou un support de tête.

[0012] Ils ont cependant plusieurs inconvénients. Ces guides comportent nécessairement deux fonctions séparées,

une première fonction de propagation de la lumière et une seconde fonction d'extraction de cette lumière. Les guides sont donc, par nature, complexes à réaliser. En particulier, les réseaux diffractifs présentent des difficultés de calcul et de réalisation.

[0013] Par ailleurs, le champ de visualisation ou « FOV », acronyme de « Field Of View » reste limité. Dans les systèmes comportant des réseaux diffractifs, la largeur spectrale de la source limite le FOV à environ 35 degrés. Les systèmes comportant des lames semi-réfléchissantes ou des micro-prismes sont limités par leurs géométries et ont aujourd'hui des FOV maximaux qui ne dépassent pas 40 degrés. Enfin, la qualité des systèmes à expansion de pupille couleur est encore limitée, et de ce fait les applications HUD aéronautiques sont aujourd'hui monochromes.

[0014] Le système de visualisation à expansion de pupille selon l'invention ne présente pas les inconvénients précédents. Il comporte simplement un miroir et une lame semi-réfléchissante disposée en regard. Celle-ci est utilisée à la fois pour la propagation de la lumière et son extraction. Plus précisément, l'invention concerne un dispositif de visualisation comportant un ensemble optique comprenant un afficheur et un système optique formant de cet afficheur une image à l'infini, caractérisé en ce que le dispositif de visualisation comprend un guide de lumière à expansion de pupille comportant un miroir plan et une lame semi-réfléchissante parallèle au miroir plan, l'axe optique de l'ensemble optique étant incliné par rapport à la surface du miroir plan d'un angle différent de zéro et strictement inférieur à 90 degrés, les faisceaux lumineux issus de l'ensemble optique se propageant à l'intérieur du guide de lumière par réflexions successives sur le miroir plan et la lame semi-réfléchissante, la transmission des faisceaux lumineux issus de l'ensemble optique vers l'extérieur du guide de lumière se faisant par transmissions successives par la lame semi-réfléchissante.

[0015] Avantageusement, le guide de lumière comporte un ensemble constitué d'un premier miroir plan réfléchissant, d'un second miroir plan réfléchissant, d'un troisième miroir plan réfléchissant, d'une première lame plane semi-réfléchissante et d'une seconde lame plane semi-réfléchissante, la seconde lame étant dans le même plan et dans le prolongement du premier miroir, la seconde lame et le premier miroir étant parallèles au second miroir, la première lame étant parallèle au troisième miroir, la première lame et le troisième miroir étant perpendiculaires au premier miroir, la première lame étant située à la jonction du premier miroir et de la seconde lame, l'axe optique de l'ensemble optique étant incliné par rapport à la surface du premier miroir plan d'un angle différent de zéro et strictement inférieur à 90 degrés.

[0016] Avantageusement, le dispositif de visualisation comporte un mélangeur optique sans puissance optique disposé après le guide de lumière réfléchissant la lumière issue du guide de lumière et transmettant la lumière issue d'une source extérieure au dispositif.

[0017] Avantageusement, au moins une des lames semi-réfléchissantes a une transmission optique variable de façon que les faisceaux lumineux issus de l'ensemble optique transmis vers l'extérieur du guide de lumière par réflexions et transmissions successives à l'intérieur du guide de lumière aient sensiblement la même luminance globale.

[0018] Avantageusement, le mélangeur optique a une transmission optique variable.

[0019] Avantageusement, le champ du système optique est inférieur ou égal à 40 degrés sur au moins un de ses axes.

[0020] Avantageusement, l'angle d'inclinaison de l'axe optique est compris entre 50 degrés et 60 degrés.

[0021] Avantageusement, la distance séparant le miroir plan de la semi-réfléchissante est comprise entre 10 millimètres et 20 millimètres, le diamètre de la pupille d'entrée du dispositif de visualisation étant compris entre 15 millimètres et 25 millimètres.

[0022] Avantageusement, la distance séparant le premier miroir plan du second miroir plan est comprise entre 10 millimètres et 20 millimètres, la distance séparant le troisième miroir plan de la première lame semi-réfléchissante est comprise entre 10 millimètres et 20 millimètres, le diamètre de la pupille d'entrée du dispositif de visualisation étant compris entre 15 millimètres et 25 millimètres.

[0023] Avantageusement, pour toute inclinaison des faisceaux lumineux issus de l'ensemble optique, la séparation entre un faisceau se propageant dans le guide de lumière et le faisceau suivant ayant subi deux réflexions supplémentaires sur un miroir plan et la lame semi-réfléchissante qui lui est parallèle est inférieure à 1.5 millimètre.

[0024] Les dessins annexés illustrent l'invention :

[Fig.1] représente un premier dispositif de visualisation selon l'art antérieur ;

[Fig.2] représente un second dispositif de visualisation selon l'art antérieur ;

[Fig.3] représente le principe de la propagation de la lumière dans un dispositif de visualisation à expansion de pupille selon l'art antérieur ;

[Fig.4] représente un premier dispositif de visualisation à expansion de pupille selon l'art antérieur ;

[Fig.5] représente un second dispositif de visualisation à expansion de pupille selon l'art antérieur ;

[Fig.6] représente un troisième dispositif de visualisation à expansion de pupille selon l'art antérieur ;

[Fig.7] représente un dispositif de visualisation à expansion de pupille selon deux axes selon l'art antérieur ;

[Fig.8] représente une première utilisation d'un dispositif de visualisation à expansion de pupille selon l'art antérieur ;

[Fig.9] représente une seconde utilisation d'un dispositif de visualisation à expansion de pupille selon l'art antérieur ;

[Fig. 10] représente le guide de lumière d'un dispositif de visualisation à expansion de pupille selon l'invention ;

[Fig.11] représente un dispositif de visualisation à expansion de pupille avec son combineur selon l'invention ;

[Fig.12] représente le guide de lumière d'un dispositif de visualisation à expansion de pupille bidimensionnel selon l'invention ;

[Fig.13] représente un éclaté du guide de lumière précédent selon l'invention ;

[Fig.14] représente les différentes incidences d'un guide de lumière selon l'invention ;

[Fig.15] représente les différents paramètres dans un guide de lumière selon l'invention ;

[Fig.16] représente l'occupation de la pupille dans un guide de lumière selon l'invention.

[0025] La figure 10 représente le principe d'un dispositif de visualisation à expansion de pupille selon l'invention. Dans le cas de la figure 10, l'expansion de pupille est réalisée dans une seule direction. Comme on le verra, il est possible de réaliser cette expansion dans deux directions différentes.

[0026] Ce dispositif de visualisation comporte un ensemble optique de collimation et un guide de lumière. L'ensemble optique comporte un afficheur 1 et un système optique 6 formant de cet afficheur une image à l'infini. L'afficheur peut être de toute nature. En particulier, le dispositif fonctionne avec tous types d'afficheur polychrome.

[0027] Le guide de lumière comporte un miroir plan 20 et une lame semi-réfléchissante 21 parallèle au miroir plan, l'axe optique de l'ensemble optique étant incliné par rapport à la surface du miroir plan d'un angle α .

[0028] Dans ce qui suit, on entend par lame semi-réfléchissante une lame optique en partie réfléchissante qui comporte un traitement qui transmet une partie d'une lumière incidente et qui réfléchit le reste de cette lumière incidente. Les parties réfléchi et transmise ne sont pas nécessairement égales.

[0029] L'angle α est nécessairement différent de zéro pour qu'il puisse y avoir réflexion des faisceaux lumineux entre le miroir et la lame semi-réfléchissante. Cet angle est également différent de 90 degrés de façon que les faisceaux puissent se propager sur une certaine distance sans atténuations excessives entre le miroir et la lame semi-réfléchissante.

[0030] Le fonctionnement du guide de lumière est le suivant. Un rayon lumineux d'incidence α issu de la pupille de l'ensemble optique de collimation est totalement réfléchi par le miroir. Il est ensuite partiellement transmis et partiellement réfléchi par la lame semi-réfléchissante. Le taux de réflexion local est R_1 et le taux de transmission local est T_1 avec T_1 sensiblement égal à $1 - R_1$. La partie réfléchi est de nouveau réfléchi par le miroir puis de nouveau transmise en partie par la lame semi-réfléchissante avec un taux de transmission local égal à $R_1.T_2$, soit $R_1.(1 - R_2)$.

[0031] Ainsi, à partir d'un rayon lumineux issu de la pupille, l'ensemble miroir-lame semi-réfléchissante génère une succession de rayons lumineux transmis parallèles entre eux et spatialement décalés dans une direction donnée. On obtient alors une succession d'images de la pupille de l'ensemble optique. En ajustant les valeurs locales du coefficient de réflexion de la lame semi-réfléchissante, les différents rayons lumineux transmis peuvent avoir des niveaux de luminance voisins.

[0032] Par rapport aux dispositifs de l'art antérieur, le guide d'onde selon l'invention a un avantage principal. La lame semi-réfléchissante est utilisée à la fois pour la propagation des faisceaux lumineux et son extraction, ce qui simplifie considérablement la réalisation du système.

[0033] Par nature, l'observateur ne peut pas voir à travers le guide de lumière selon l'invention. Aussi, comme on le voit sur la figure 11, le dispositif de visualisation comporte un mélangeur optique semi-transparent 30 sans puissance optique disposé après le guide de lumière. Ce combineur réfléchit la lumière issue du guide de lumière et transmet la lumière issue d'une source extérieure au dispositif. A titre d'exemple, le combineur représenté sur la figure 11 est une simple lame plane semi-réfléchissante. Ce combineur peut éventuellement avoir une transmission optique variable de façon à améliorer le contraste de l'image issue du dispositif de visualisation sur le paysage extérieur.

[0034] Le guide de lumière de la figure 10 permet l'expansion de pupille dans une direction donnée. Dans un grand nombre d'applications, il est nécessaire d'étendre la pupille dans deux directions de l'espace. Dans ce cas, le guide de lumière selon l'invention comporte un ensemble constitué de cinq éléments. A titre d'exemple de réalisation, un guide de ce type est représenté sur les figures 12 et 13. La figure 13 est un éclaté de la figure 12.

[0035] Ce guide bidimensionnel est composé d'un premier miroir plan réfléchissant 41, d'un second miroir plan réfléchissant 42, d'un troisième miroir plan réfléchissant 43, d'une première lame plane semi-réfléchissante 44 et d'une seconde lame plane semi-réfléchissante 45.

[0036] La seconde lame 45 est dans le même plan et dans le prolongement du premier miroir 41. La seconde lame 45 et le premier miroir 41 sont parallèles au second miroir 42. La première lame 44 est parallèle au troisième miroir 43. La première lame 44 et le troisième miroir 43 sont perpendiculaires au premier miroir 41. La première lame 44 est située à la jonction du premier miroir 41 et de la seconde lame 45.

[0037] L'axe optique x de l'ensemble optique est incliné par rapport à la surface du troisième miroir plan d'un premier angle α différent de zéro et strictement inférieur à 90 degrés et, par rapport au premier miroir plan d'un second angle β différent de zéro et strictement inférieur à 90 degrés. Ces angles sont représentés dans le trièdre de la figure 12.

[0038] Par définition du système, tous les rayons lumineux issus de l'ensemble optique impactent une première fois un couple d'éléments optiques adjacents, c'est à dire :

- soit le premier miroir 41 et le troisième miroir 43,
- soit le second miroir 42 et le troisième miroir 43,
- soit le premier miroir 41 et la première lame semi-réfléchissante 44,
- soit le second miroir 42 et la première lame semi-réfléchissante 44.

[0039] Après leur passage dans le guide de lumière, ces rayons lumineux sont transmis par la seconde lame semi-réfléchissante 45. On démontre que, dans chacun de ces quatre cas de figure, deux rayons lumineux ayant la même incidence d'entrée mais rencontrant chacun un premier élément qui peut être un miroir ou une lame semi-réfléchissante différent, sont transmis avec la même incidence de sortie par la seconde lame semi-réfléchissante indépendamment de leurs parcours dans le guide de lumière.

[0040] Par exemple, si les rayons lumineux issus de l'ensemble optique sont orientés vers le premier miroir 41 et la première lame semi-réfléchissante 44 avec un angle (α, β) , alors quel que soit le premier élément 41 ou 44 impacté par un rayon, ce dernier ressortira du système par la lame semi-réfléchissante 45 avec un angle (α, β) .

[0041] Les guides de lumière à expansion de pupille monodimensionnel ou bidimensionnel selon l'invention sont composés de miroirs plans et de lames semi-réfléchissantes. Ils ne posent pas de difficultés de réalisation particulières pour l'homme du métier, l'écartement entre les lames semi-réfléchissantes et les miroirs qui leur font face peut être réalisé au moyen de cales optiques de grande précision.

[0042] Les principales caractéristiques géométriques d'un dispositif de visualisation comportant un guide de lumière selon l'invention sont, selon l'une de ses directions d'expansion :

- La pupille d'entrée de diamètre P ;
- Le champ de visualisation noté FOV. Dans le cas présent, l'angle d'inclinaison α peut varier entre un angle minimum $\alpha_{\min}$ et un angle maximum $\alpha_{\max}$. La différence entre ces deux angles d'inclinaison donne la valeur angulaire du champ de visualisation dans une direction. Dans la suite, on notera α_{moy} l'angle d'inclinaison correspondant à la moyenne des deux angles précédents. Cet angle détermine l'inclinaison de l'axe optique de l'ensemble optique par rapport au guide de lumière ;
- La longueur et la largeur du guide de lumière. Elles sont imposées par la dimension de pupille de sortie souhaitée ;
- L'épaisseur t du guide lumière ;
- La largeur IP des zones aveugles du guide de lumière. Ces zones sont telles que, pour un champ donné, elles ne transmettent pas de lumière.

[0043] Ces différents paramètres sont représentés sur les figures 14 à 16 qui représentent trois vues en coupe partielles d'un guide de lumière au niveau de sa jonction avec l'ensemble optique. Ce guide comporte le miroir 20 et la lame semi-réfléchissante 21.

[0044] Les différents paramètres sont soumis à des contraintes physiques et/ou géométriques. La première contrainte porte sur la taille de la pupille d'entrée P. Cette taille de pupille P est contrainte par l'ouverture maximale de l'optique de collimation.

[0045] A titre d'exemple, on peut considérer que, pour un imageur de 0,7 pouce de diagonale et une ouverture

numérique inférieur à $f/0.9$, le diamètre maximal de la pupille est de 21 millimètres.

[0046] Dans le cas où le système de visualisation est un HUD, la luminance maximale en sortie, au niveau de l'œil de l'utilisateur, doit être élevée, de l'ordre de 7000 Cd/m^2 de façon à percevoir avec un bon contraste l'image issue de l'afficheur sur un fond très lumineux.

[0047] Or, la luminance de sortie est inversement proportionnelle au ratio entre la surface de la pupille de sortie du système et la surface de la pupille d'entrée ou plus précisément la projection de la pupille d'entrée sur les surfaces du guide. Plus ce ratio est élevé, plus, pour une luminance d'entrée donnée, la luminance de sortie est faible. De manière à diminuer ce ratio, et compte tenu de la luminance élevée demandée en sortie du système, il est donc préférable de choisir une pupille d'entrée la plus grande possible. Dans le cas présent, un diamètre de 21 millimètres est un bon compromis.

[0048] Comme on le voit sur la figure 15, on note $\text{Proj}(\alpha, t)$ la projection de la pupille d'entrée en fonction du champ α et de l'épaisseur t et $\text{IP}(\alpha, t)$ la distance entre deux projections successives de la pupille issue des deux réflexions successives entre le miroir et la lame semi-réfléchissante.

[0049] Pour une valeur élevée de champ α , une partie des rayons ne se propagent pas dans le guide. La projection $\text{Proj}(\alpha, t)$ est en partie occultée, comme on peut le voir sur la figure 16. Ainsi, la partie des rayons d'incidence α représentée par la zone en pointillés sur cette figure n'entre pas dans le guide de lumière.

[0050] Or, il est important que la projection de la pupille, pour tous les champs, soit supérieure à une taille minimale $\text{Proj}_{\min}$ pour diminuer le ratio pupille de sortie sur pupille d'entrée et obtenir suffisamment de luminance en sortie. Cela signifie que l'on va contraindre le champ maximal $\alpha_{\max}$ que l'on injecte.

[0051] A titre d'exemple de détermination de cette taille minimale $\text{Proj}_{\min}$ et donc du champ maximal $\alpha_{\max}$, on considère que la pupille de sortie du guide est un rectangle de 30 centimètres par 20 centimètres, soit une surface P_{out} couverte de 600 cm^2 . On souhaite que la luminance L_{out} dans cette pupille de sortie soit de 7000 Cd/m^2 . La luminance L_{in} de l'image, à l'entrée du guide de lumière, est de l'ordre de 5.10^6 Cd/m^2 . Enfin, la transmission T de l'ensemble du système, compte-tenu des pertes dans le guide et de la transmission du combineur, vaut 70 %. Alors, la surface minimale de la pupille d'entrée P_{in} vaut :

$$P_{\text{in}} = T \cdot P_{\text{out}} \cdot \frac{L_{\text{out}}}{L_{\text{in}}}$$

[0052] Avec les valeurs indiquées, cette surface vaut 1.2 cm^2 , soit un diamètre d'environ 1.2 centimètre.

[0053] Géométriquement on a la relation :

$$\alpha_{\max} = \text{atan} \frac{2t}{\text{Proj}(\alpha_{\max})} = \text{atan} \frac{2t}{\text{Proj}_{\min}}$$

[0054] Les projections de la pupille, pour tous les champs α , doivent être espacées d'une valeur $\text{IP}(\alpha, t)$ inférieure à une valeur maximale $\text{IP}_{\max}$. Cette valeur maximale $\text{IP}_{\max}$ est fixée à 1,5 mm, correspondant à la moitié de la taille minimale de la pupille de l'œil lorsque celle-ci est soumise à un fort éclaircissement.

[0055] Or, géométriquement, on a $\tan \alpha = \frac{2t}{(P(\alpha) + \text{IP}(\alpha))}$

[0056] $\text{IP}_{\max}$ contraint le champ minimal $\alpha_{\min}$ que l'on peut injecter dans le guide de lumière.

[0057] On a donc $\tan \alpha_{\min} = \frac{2t}{\text{Proj}(\alpha_{\min}) + \text{IP}_{\max}}$ or $\text{Proj}(\alpha_{\min}) = P / \cos \alpha_{\min}$

[0058] Donc $\tan \alpha_{\min} = \frac{2t}{P / \cos \alpha_{\min} + \text{IP}_{\max}}$

[0059] Compte-tenu de ces différentes contraintes, on détermine le champ maximal injectable dans le guide. En d'autres termes, on cherche t tel que :

$$\text{FOV}(t) = \alpha_{\max}(t) - \alpha_{\min}(t) \text{ soit maximal,}$$

avec $\text{Proj}_{\min}$ vérifiant : $\alpha_{\max}(t) = \text{atan} \frac{2t}{\text{Proj}_{\min}}$ tout en sachant que $\tan \alpha_{\min} = \frac{2t}{P / \cos \alpha_{\min} + \text{IP}_{\max}}$ (Equation 1)

[0060] On cherche donc $\alpha_{\min}$ maximisant le champ FOV($\alpha_{\min}$).

[0061] Si l'on pose $x = \cos \alpha_{\min}$, alors on démontre que, si $\alpha_{\min}$ maximise FOV($\alpha_{\min}$), alors x vérifie l'équation :

$$(Proj_{\min}^2 - IP_{\max}^2) \cdot x^4 + (Proj_{\min} - 2 \cdot IP_{\max}) \cdot P \cdot x^3 + (IP_{\max}^2 - Proj_{\min}^2 - Proj_{\min} \cdot IP_{\max}) \cdot x^2 + 2 \cdot (IP_{\max} - Proj_{\min} + P)^2 = 0$$

[0062] Si l'on choisit $Proj_{\min} = 12$ mm, $IP_{\max} = 1.5$ mm et $P = 21$ mm, on trouve que $x \sim 0.7$ et donc que le FOV est maximum pour $\alpha_{\min} = 45^\circ$.

[0063] On en déduit, en utilisant l'équation (1) que le FOV est maximum pour $t = 15,7$ mm et $\alpha_{\max} = 69^\circ$ et donc $\max(\text{FOV}(t)) = 24^\circ$.

[0064] Si l'on choisit $Proj_{\min} = 5$ mm, les autres valeurs étant inchangées, alors $\max(\text{FOV}(t)) = 36^\circ$.

[0065] On a ainsi déterminé, avec les paramètres précédents la distance t nécessaire pour injecter le maximum de champ, ainsi que les angles minimal et maximal de champ injectable dans le guide de lumière.

[0066] Une approche identique permet de déterminer la distance entre les deux autres miroirs dans l'autre dimension de l'espace lorsque le guide de lumière est bidimensionnel.

[0067] La longueur et la largeur des miroirs et des lames semi-réfléchissantes sont dimensionnées par la taille de la boîte à œil souhaitée en sortie de guide de lumière et par l'eye relief, c'est-à-dire la distance optique entre la sortie du guide de lumière et l'œil de l'utilisateur.

[0068] Une modélisation du système avec, par exemple, un logiciel de simulation optique permet alors de retrouver la taille exacte de la pupille de sortie du système, et donc la taille de guide de lumière nécessaire pour obtenir cette pupille de sortie.

[0069] Les différents paramètres géométriques du dispositif de visualisation selon l'invention étant définis, il est alors facile, avec un logiciel de simulation optique, de déterminer le taux de transmission des lames semi-réfléchissantes permettant d'obtenir la meilleure uniformité de luminance dans la boîte à œil.

Revendications

1. Dispositif de visualisation comportant un ensemble optique comprenant un afficheur (1) et un système optique formant de cet afficheur une image à l'infini, **caractérisé en ce que** le dispositif de visualisation comprend un guide de lumière à expansion de pupille agencé de façon à étendre une pupille dans deux directions de l'espace, ledit guide de lumière comportant un ensemble optique constitué d'un premier miroir plan réfléchissant (41), d'un second miroir plan réfléchissant (42), d'un troisième miroir plan réfléchissant (43), d'une première lame plane semi-réfléchissante (44) et d'une seconde lame plane semi-réfléchissante (45), la seconde lame étant dans le même plan et dans le prolongement du premier miroir, la seconde lame et le premier miroir étant parallèles au second miroir, la première lame étant parallèle au troisième miroir, la première lame et le troisième miroir étant perpendiculaires au premier miroir, la première lame étant située à la jonction du premier miroir et de la seconde lame, l'axe optique de l'ensemble optique étant incliné par rapport à la surface du premier miroir plan d'un angle différent de zéro et strictement inférieur à 90 degrés, les faisceaux lumineux issus de l'ensemble optique se propageant à l'intérieur du guide de lumière par réflexions successives sur les miroirs plans et les lames semi-réfléchissantes, la transmission des faisceaux lumineux issus de l'ensemble optique vers l'extérieur du guide de lumière se faisant par transmissions successives par la seconde lame semi-réfléchissante (45).
2. Dispositif de visualisation selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** le dispositif de visualisation comporte un mélangeur optique (30) sans puissance optique disposé après le guide de lumière réfléchissant la lumière issue du guide de lumière et transmettant la lumière issue d'une source extérieure au dispositif.
3. Dispositif de visualisation selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'**au moins une des lames semi-réfléchissantes a une transmission optique variable de façon que les faisceaux lumineux issus de l'ensemble optique transmis vers l'extérieur du guide de lumière par réflexions et transmissions successives à l'intérieur du guide de lumière aient sensiblement la même luminance globale.
4. Dispositif de visualisation selon l'une des revendications 2 ou 3, **caractérisé en ce que** le mélangeur optique a une transmission optique variable.
5. Dispositif de visualisation selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le champ du système

optique est inférieur ou égal à 40 degrés sur au moins un de ses axes.

6. Dispositif de visualisation selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** l'angle d'inclinaison de l'axe optique est compris entre 50 degrés et 60 degrés.

5

7. Dispositif de visualisation selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la distance séparant le premier miroir plan du second miroir plan est comprise entre 10 millimètres et 20 millimètres, la distance séparant le troisième miroir plan de la première lame semi-réfléchissante est comprise entre 10 millimètres et 20 millimètres, le diamètre de la pupille d'entrée du dispositif de visualisation étant compris entre 15 millimètres et 25 millimètres.

10

8. Dispositif de visualisation selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que**, pour toute inclinaison des faisceaux lumineux issus de l'ensemble optique, la séparation entre un faisceau se propageant dans le guide de lumière et le faisceau suivant ayant subi deux réflexions supplémentaires sur un miroir plan et la lame semi-réfléchissante qui lui est parallèle est inférieure à 1.5 millimètre.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

[Fig. 1]

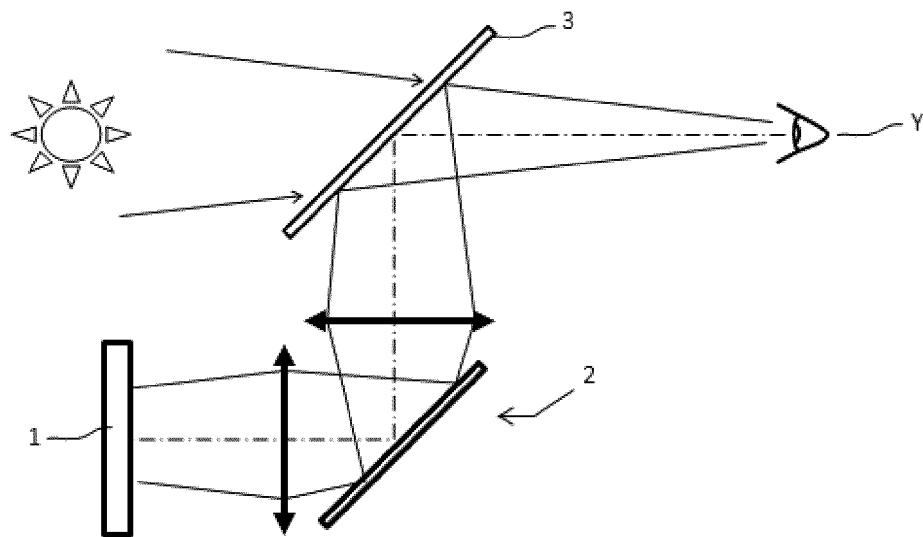


FIG. 1

[Fig. 2]

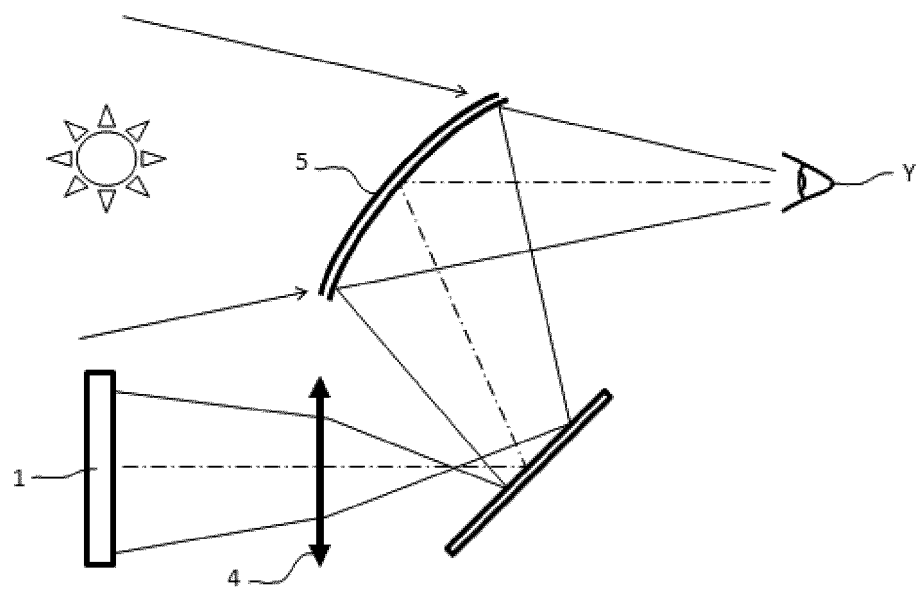
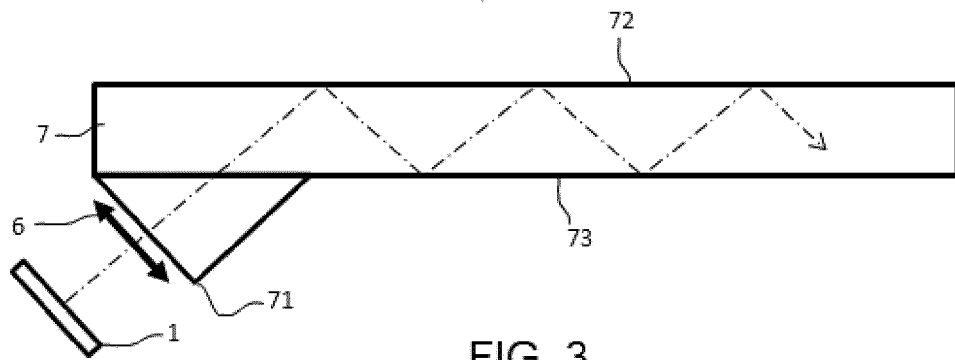
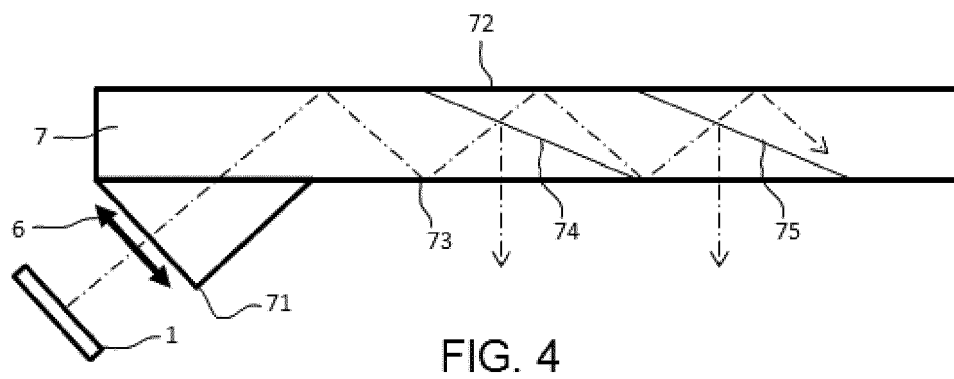


FIG. 2

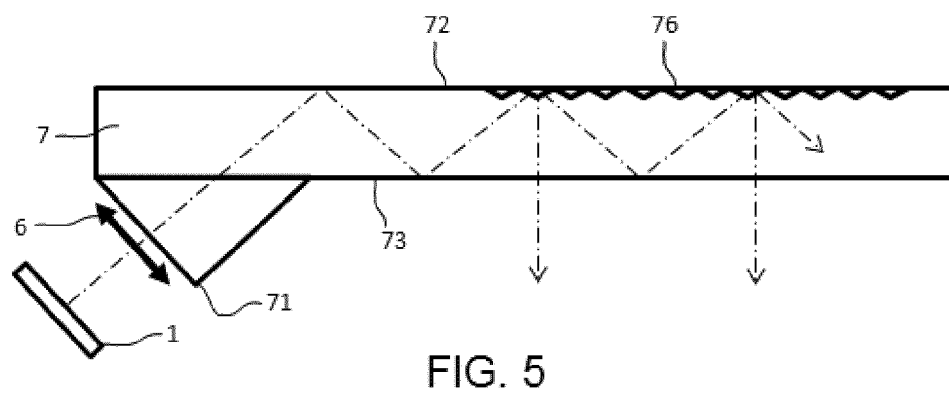
[Fig. 3]



[Fig. 4]



[Fig. 5]



[Fig. 6]

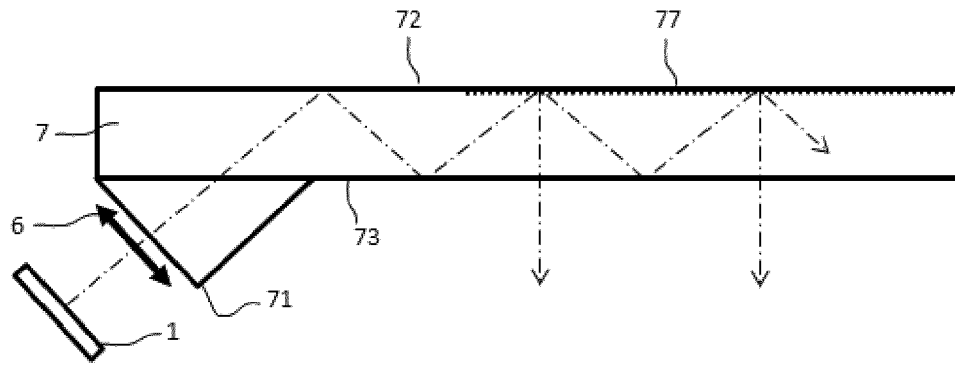


FIG. 6

[Fig. 7]

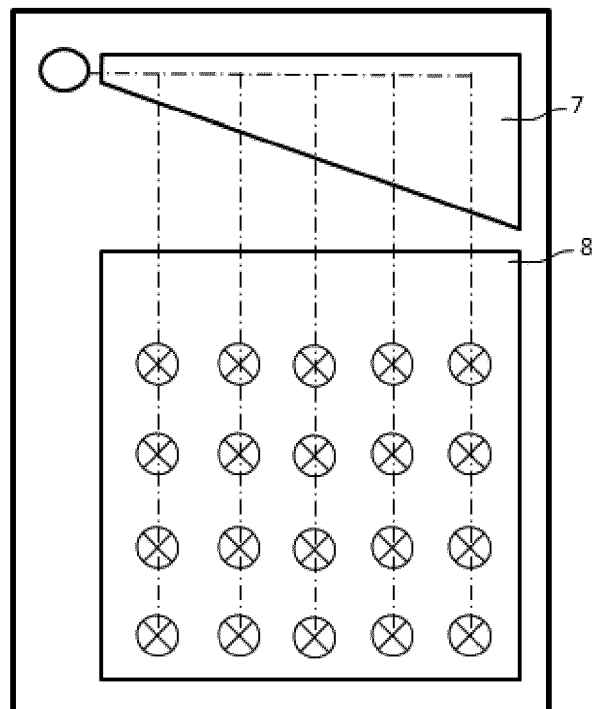
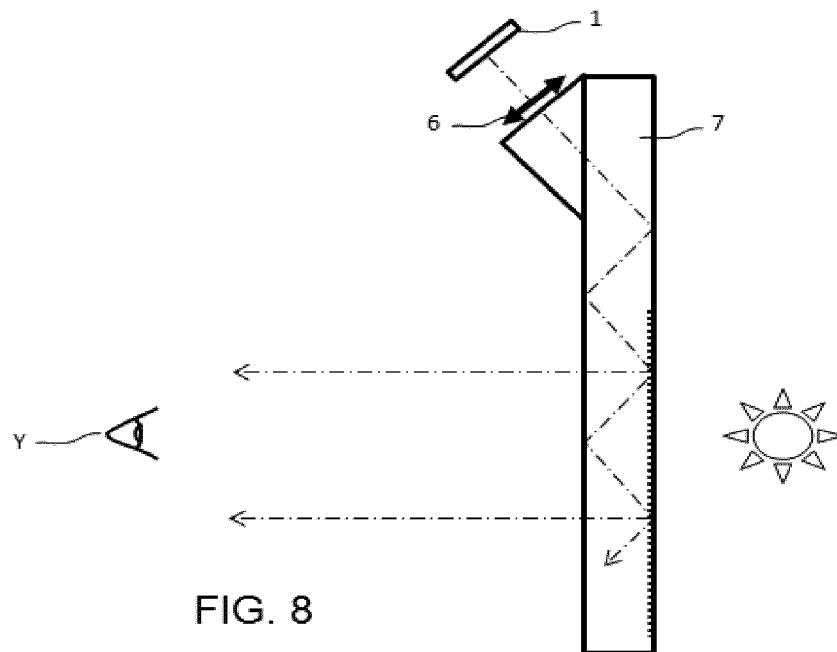
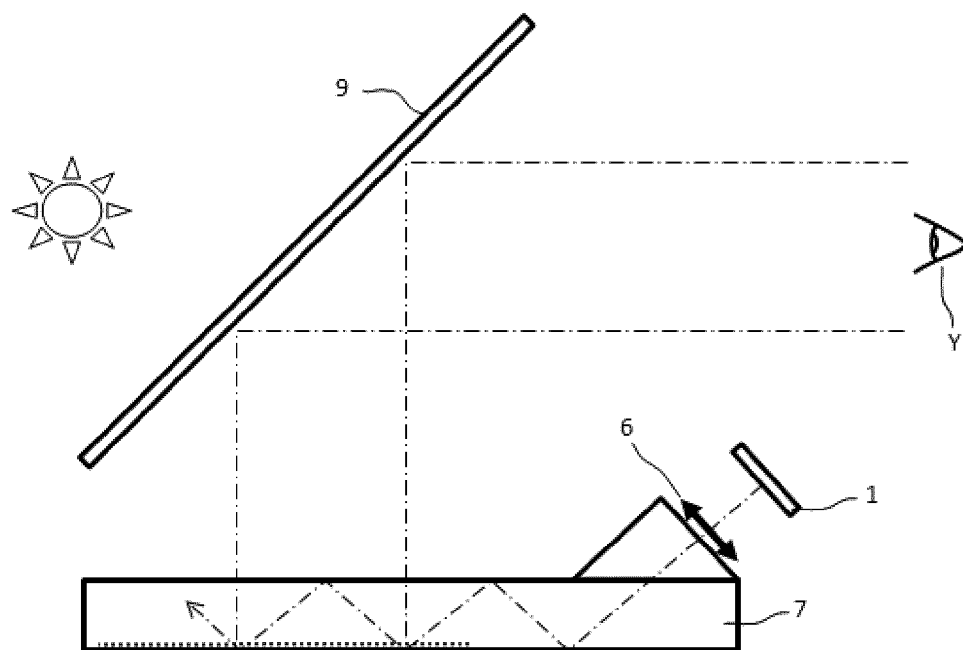


FIG. 7

[Fig. 8]



[Fig. 9]



[Fig. 10]

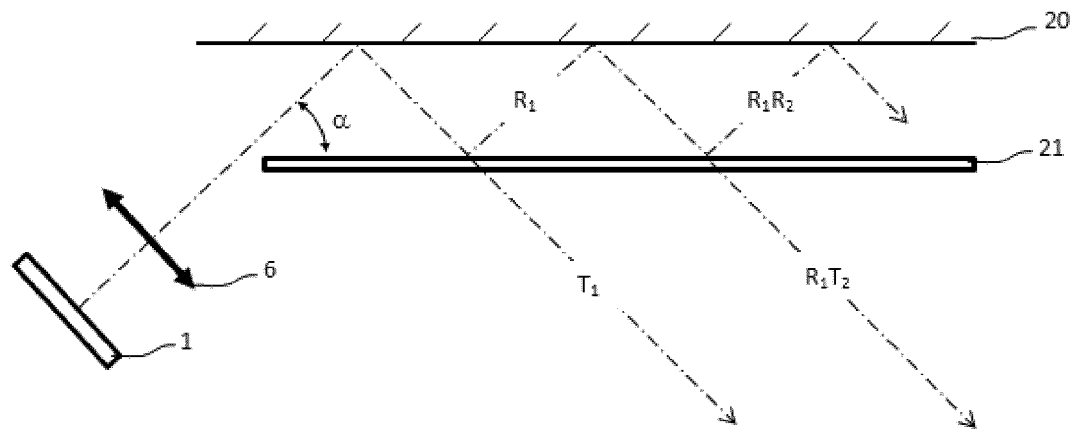


FIG. 10

[Fig. 11]

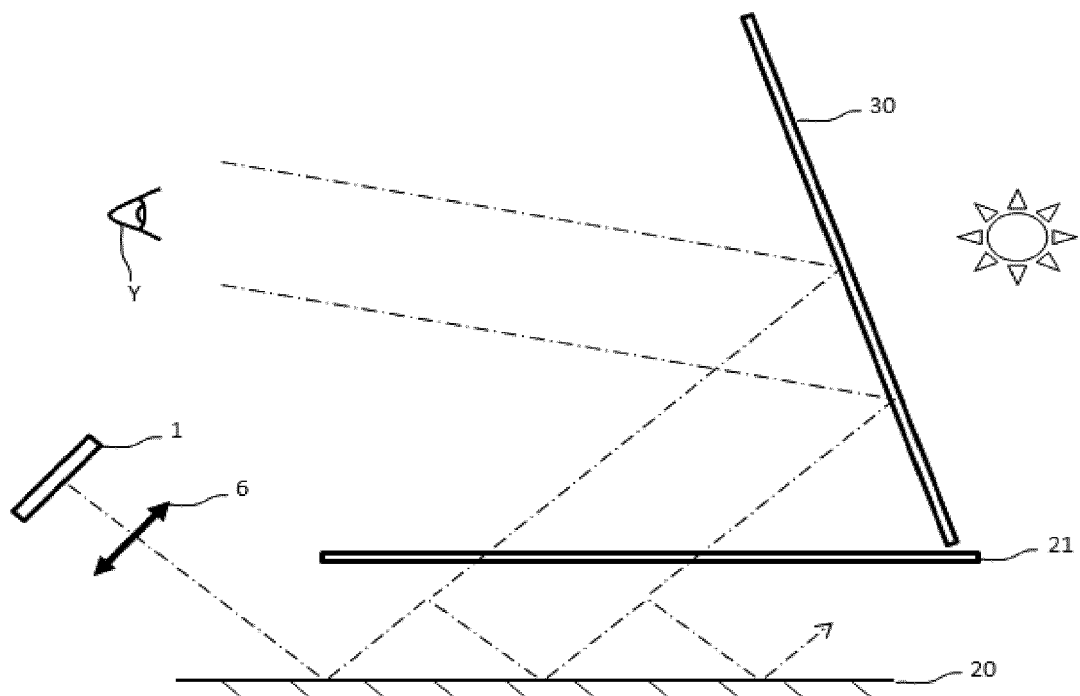
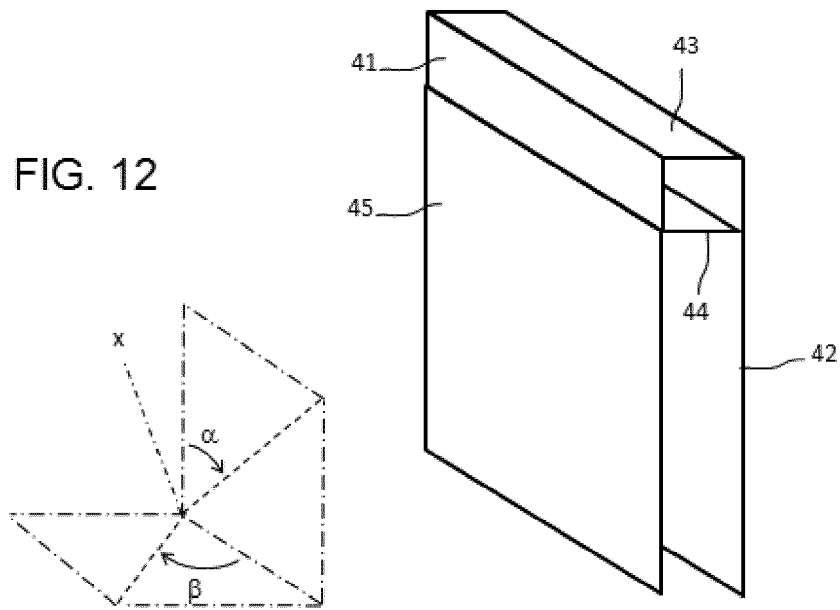
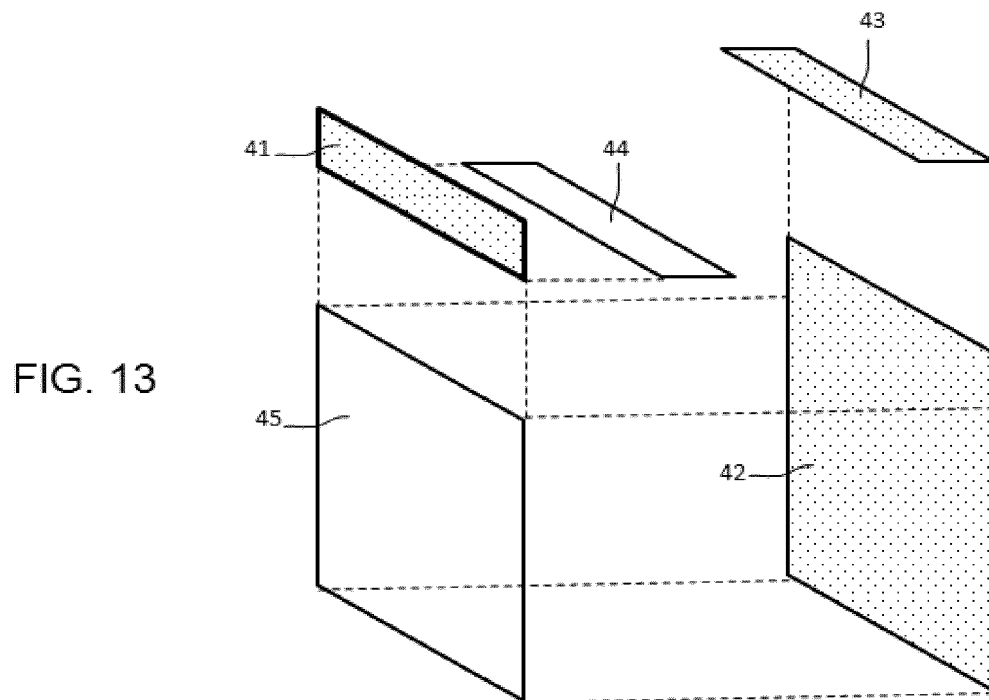


FIG. 11

[Fig. 12]



[Fig. 13]



[Fig. 14]

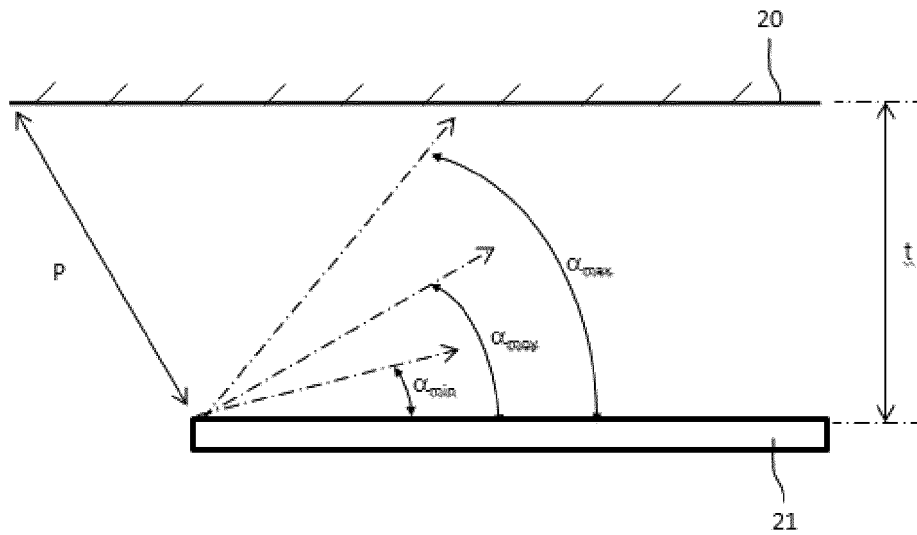


FIG. 14

[Fig. 15]

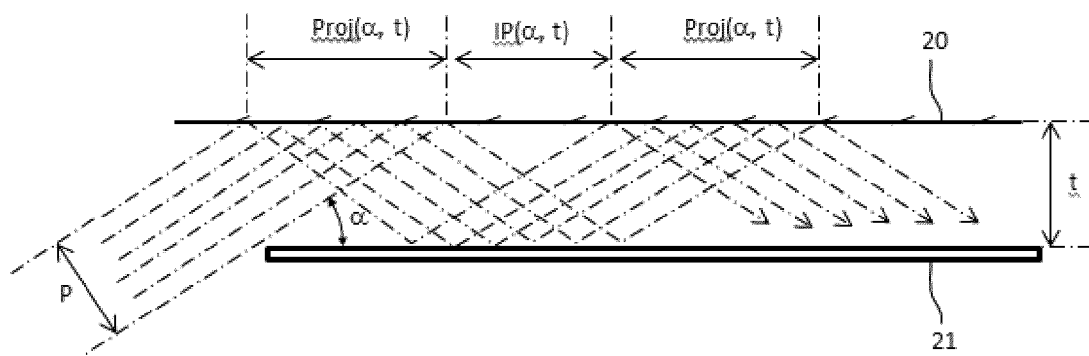


FIG. 15

[Fig. 16]

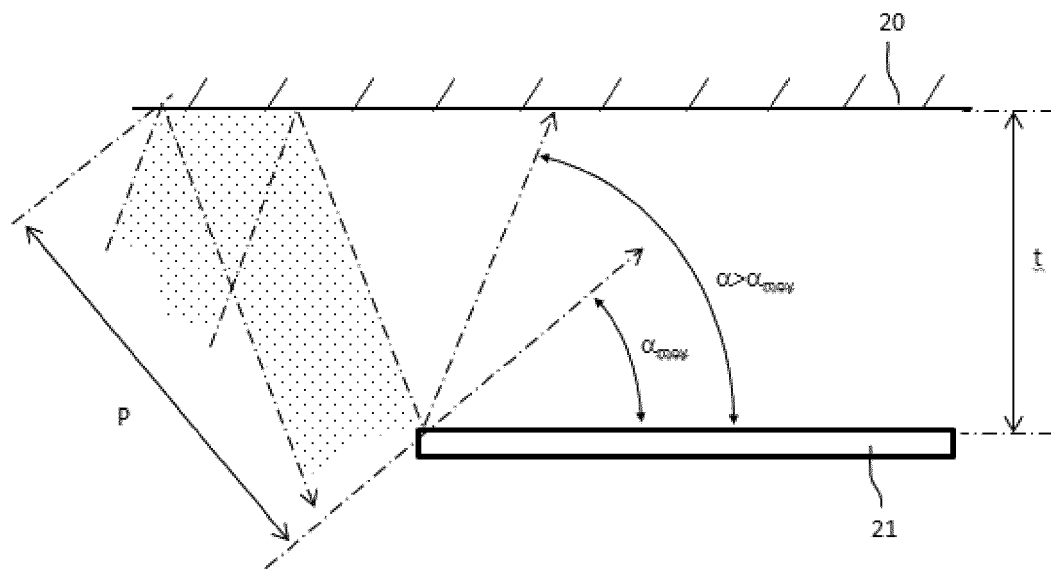


FIG. 16



RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 20 15 5523

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (IPC)
X	US 2016/048017 A1 (KASAHARA TSUYOSHI [JP] ET AL) 18 février 2016 (2016-02-18) * abrégé; figures 2,4,6,8 * * alinéa [0008] * * alinéa [0034] - alinéa [0044] * * alinéa [0058] - alinéa [0057] * * alinéa [0061] *	1-8	INV. G02B27/01 G02B27/00 G02B27/14
X	WO 2010/092409 A1 (LIGHT BLUE OPTICS LTD [GB]; LACOSTE LILIAN [GB] ET AL.) 19 août 2010 (2010-08-19) * abrégé; figures 6,8 * * page 24 *	1-8	
A	EP 2 733 517 A1 (ROCKWELL COLLINS INC [US]; SBG LABS INC [US]) 21 mai 2014 (2014-05-21) * abrégé; figures 12,13,37-39 *	1-8	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (IPC)
			G02B
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche Munich		Date d'achèvement de la recherche 15 juin 2020	Examineur Jakober, François
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C02)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET EUROPEEN NO.**

EP 20 15 5523

5 La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche européenne visé ci-dessus.
Lesdits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets.
15-06-2020

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EPO FORM P0460

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2016048017 A1	18-02-2016	JP 5999434 B2	28-09-2016
		JP 2014191143 A	06-10-2014
		US 2016048017 A1	18-02-2016
		WO 2014156613 A1	02-10-2014

WO 2010092409 A1	19-08-2010	EP 2396691 A1	21-12-2011
		KR 20110117719 A	27-10-2011
		US 2012002256 A1	05-01-2012
		WO 2010092409 A1	19-08-2010

EP 2733517 A1	21-05-2014	CN 103823267 A	28-05-2014
		EP 2733517 A1	21-05-2014
		JP 6463597 B2	06-02-2019
		JP 2014132328 A	17-07-2014
		US 2014140654 A1	22-05-2014
		US 2018373115 A1	27-12-2018

Pour tout renseignement concernant cette annexe : voir Journal Officiel de l'Office européen des brevets, No.12/82